

10 / 502490

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP03/00163

10.01.03

13 JUL 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 4月19日

REC'D 28 MAR 2003

WIPO

PCT

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-117079

[ST.10/C]:

[JP2002-117079]

出 願 人

Applicant(s):

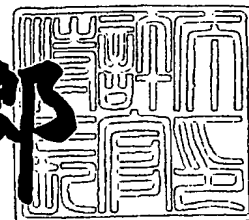
ティーディーケー株式会社

PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 3月11日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3008555

【書類名】 特許願

【整理番号】 P-04019-2X

【提出日】 平成14年 4月19日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01F 10/16
H01F 17/00

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケ
 イ株式会社内

 【氏名】 崔 京九

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市緑区長津田町 4 2 5 9

 【氏名】 山崎 陽太郎

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 ティーディーケ
 イ株式会社内

 【氏名】 村瀬 琢

【特許出願人】

 【識別番号】 000003067

 【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社

 【代表者】 澤部 肇

【代理人】

 【識別番号】 100098006

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 皿田 秀夫

 【電話番号】 03-3255-7888

【選任した代理人】

 【識別番号】 100095463

 【弁理士】

【氏名又は名称】 米田 潤三

【電話番号】 03-3255-7888

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 066224

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 高周波用磁性薄膜およびそれを用いた磁気素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 Co系非結晶質合金層とFe-C層とを交互に積層して多層膜構造とした高周波用磁性薄膜であって、

前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、Fe-C層の厚さT1が0.5nm以上3.0nm未満の範囲にあり、かつT1/T2の比が0.8以上3.0以下の範囲にあることを特徴とする高周波用磁性薄膜。

【請求項2】 成膜完了時であるas-depo.の状態で、1GHzにおける複素透磁率の実数部(μ')が500以上で、かつ性能指数Q($Q = \mu' / \mu''$)が10以上、飽和磁化が1.4T(14kG)以上の特性を備えてなる請求項1に記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項3】 前記Co系非結晶質合金層は、Coを主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成される請求項1または請求項2に記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項4】 前記Co系非結晶質合金層は、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMoから選択される請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項5】 前記Fe-C層は、その中に含有される炭素濃度が2～20at%である請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項6】 前記Fe-C層は、非結晶質(アモルファス)である請求項1ないし請求項5のいずれかに記載の高周波用磁性薄膜。

【請求項7】 高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、

前記高周波用磁性薄膜は、Co系非結晶質合金層とFe-C層とが交互に積層された多層膜であり、

前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、Fe-C層の厚さT1が0.5nm以上3.0nm未満の範囲内にあり、かつT1/T2の比が0.8以上3.0以下の範囲にあることを特徴とする磁気素子。

【請求項8】 コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、

前記高周波用磁性薄膜は、Co系非結晶質合金層とFe-C層とが交互に積層された多層膜であり、

前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、Fe-C層の厚さT1が0.5nm以上3.0nm未満の範囲内にあり、かつT1/T2の比が0.8以上3.0以下の範囲内にあることを特徴とする磁気素子。

【請求項9】 前記Fe-C層は、非結晶質（アモルファス）である請求項7または請求項8に記載の磁気素子。

【請求項10】 前記磁気素子がモノリシックマイクロ集積回路に用いられるインダクティブ素子である請求項7ないし請求項9のいずれかに記載の磁気素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高抵抗（比抵抗が大きい）、かつ、GHzの高周波帯域で高い透磁率および性能指数Qを示す磁性薄膜に関し、特に、モノリシックマイクロ集積回路（MMIC）に用いられる磁性薄膜およびインダクティブ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

ワイヤレス送受信装置や携帯情報端末を中心に需要が高まっているモノリシックマイクロ波集積回路（MMIC）は、Si、GaAs、InPなどの半導体基板上に、トランジスタなどの能動素子と、線路、抵抗、キャパシタ、インダクタなどの受動素子とを、一括的かつ一体的に作製して構成される高周波集積回路で

ある。

【0003】

このようなMMICにおいては、受動素子、特にインダクタやキャパシタが能動素子に比べ、大きな面積を占めている。このような受動素子の大面积の占有は、結果として、高価な半導体基板の大量消費、すなわち、MMICのコストアップにつながる。従って、チップ面積を縮小し、MMICの製造コストを低減するために、受動素子が占める面積を縮小することが課題となっている。

【0004】

MMICのインダクティブ素子としては平面型のスパイラルコイルが多く用いられている。そのスパイラルコイルの上下面、或いは片面に軟磁性薄膜を挿入し、インダクタンスを増加させる方法（換言すれば、小さな占有面積でも従来のインダクタンスが得られる方法）がすでに提案されている（例えば、J. Appl. Phys. 85, 7919 (1999)）。

【0005】

しかしながら、磁性材料をMMICのインダクティブ素子へ応用するためには、先ず、GHzの高周波数帯域における透磁率が高く、かつ損失が少ない薄膜磁性材料を開発することが求められている。さらには比抵抗が大きいことも求められている。

【0006】

従来、高い飽和磁化を持つ磁性材料としてFeあるいはFeを主成分とする微結晶または非結晶質合金が良く知られている。ところが、Fe系合金の磁性膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の飽和磁化は高いものの、保磁力が大きく、また、比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることは困難であった。

【0007】

また、軟磁気特性が優れている材料として、Co系非結晶質合金が知られている。ところがゼロ磁歪組成のCo系非結晶質合金の磁性膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、その膜の透磁率は大きいものの、飽和磁化が11 kG (1.1 T) 程度であり、Fe系に比べて小さい。さらに、百MHz程度の周波数

およびこれを超えてから損失成分（透磁率の虚数部 μ'' ）が大きくなり、性能指数 Q 値が 1 以下となり、GHz の高周波帯域で使用する磁性材料としての応用は困難である。このような適用困難な材料を用いて GHz 帯のインダクタを実現させるために、磁性薄膜をマイクロワイヤ化させ、形状異方性エネルギーを増大させることにより、共鳴周波数を高周波化する試みも行われている（例えば、日本応用磁気学会誌、24, 879（2000））。しかしながら、この方法では工程が複雑になってしまうばかりか、さらに、磁性薄膜の実効透磁率が低下してしまうという問題がある。

【0008】

このような実情のもとに従来より、軟磁性薄膜の高周波特性を改良するために種々の提案がなされてきた。その改良の基本方針としては、渦電流損失を抑制させたり、あるいは共鳴周波数を上昇させることなどが挙げられる。渦電流損失を抑制させる具体的な方策としては、例えば、磁性層／絶縁層（高抵抗層）との積層による多層化（例えば、特開平7-249516号公報）や、金属-非金属（酸化物、フッ化物）のグラニューラー化（例えば、J. Appl. Phys. 79, 5130（1996））などが提案されている。しかしながら、これらの方法では、高抵抗の非磁性相が挿入されているために、飽和磁化が低下するという問題が生じる。また、金属-非金属のグラニューラー膜の場合は、透磁率が 200 以下であり、透磁率が低いという問題もある。

【0009】

一方、軟磁性層と高飽和磁化層を相互に積層した多層膜による高飽和磁化薄膜についての検討も行われている。すなわち、CoZr/Fe（日本応用磁気学会誌、16, 285（1992））、FeBN/FeN（特開平5-101930号公報）、FeCrB/Fe（J. Appl. Phys. 67, 5131（1990））、Fe-Hf-C/Fe（日本応用磁気学会誌、15, 403（1991））など様々な組み合わせの例が報告されている。これらのものはいずれも飽和磁化を高くすることには効果がある。しかしながら、これらのものはいずれも高周波帯域での透磁率の顕著な増大が見られず、GHz 周波数帯域への応用は期待できない。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

このような実状のもとに本発明は創案されたものであり、その目的は、高抵抗（比抵抗が大きい）、かつ、GHzの高周波帯域で高い透磁率および性能指数 Q を示す磁性薄膜、特に、モノリシックマイクロ集積回路（MMIC）に用いられる磁性薄膜およびインダクティブ素子を提供することにある。

【0011】

ところで、MMIC用インダクティブ素子に適用する磁性薄膜の材料としては、GHz帯域の高周波数で高透磁率、かつ高い性能指数 Q （低損失）特性を持つことや、半導体製造プロセスによる集積化が可能であることが求められる。

【0012】

GHz帯域の高周波数における高透磁率を実現するためには、共鳴周波数が高く、かつ飽和磁化が大きい材質が有利であり、一軸磁気異方性の制御が必要である。

【0013】

また、高い性能指数 Q を得るためには、高抵抗化による渦電流損失の抑制が重要である。

【0014】

さらに、集積化プロセスに適用するためには、室温で成膜でき、as-depo.の状態で使用できることが望ましい。すでにセッティングされている他のオンチップコンポーネントの性能および作成プロセスに影響を及ぼさないようにするためである。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明は、Co系非結晶質合金層とFe-C層とを交互に積層して多層膜構造とした高周波用磁性薄膜であって、前記Fe-C層の厚さを T_1 、前記Co系非結晶質合金層の厚さを T_2 とした場合に、Fe-C層の厚さ T_1 が0.5nm以上3.0nm未満の範囲にあり、かつ T_1/T_2 の比が0.8以上3.0以下の範囲にあるように構成される。

【0016】

また、本発明の高周波用磁性薄膜は、成膜完了時であるas-depo.の状態で、1 GHzにおける複素透磁率の実数部 (μ') が500以上で、かつ性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) が10以上、飽和磁化が1.4 T (14 kG) 以上の特性を備えてなるように構成される。

【0017】

また、本発明の好ましい態様として、前記Co系非結晶質合金層は、Coを主成分とし、B, C, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Y, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta, Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成される。

【0018】

また、本発明の好ましい態様として、前記Co系非結晶質合金層は、CoZr, CoHf, CoNb, CoMo, CoZrNb, CoZrTa, CoFeZr, CoFeNb, CoTiNb, CoZrMo, CoFeB, CoZrNbMo, CoZrMoNi, CoFeZrB, CoFeSiB, CoZrCrMoから選択されるように構成される。

【0019】

また、本発明の好ましい態様として、前記Fe-C層は、その中に含有される炭素濃度が2～20 at %であるように構成される。

【0020】

また、本発明の好ましい態様として、前記Fe-C層は、非結晶質（アモルファス）として構成される。

【0021】

本発明は、高周波用磁性薄膜を有する磁気素子であって、前記高周波用磁性薄膜は、Co系非結晶質合金層とFe-C層とが交互に積層された多層膜であり、前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、Fe-C層の厚さT1が0.5 nm以上3.0 nm未満の範囲内にあり、かつT1/T2の比が0.8以上3.0以下の範囲にあるように構成される。

【0022】

本発明は、コイルを挟持するように対向配置された高周波用磁性薄膜を有する

磁気素子であって、前記高周波用磁性薄膜は、C o 系非結晶質合金層と F e - C 層とが交互に積層された多層膜であり、前記 F e - C 層の厚さを T1、前記 C o 系非結晶質合金層の厚さを T2 とした場合に、F e - C 層の厚さ T1 が 0.5 nm 以上 3.0 nm 未満の範囲内にあり、かつ T1/T2 の比が 0.8 以上 3.0 以下の範囲内にあるように構成される。

【0023】

また、本発明の好ましい態様として、前記磁気素子がモノリシックマイクロ集積回路に用いられるインダクティブ素子として構成される。

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の高周波用磁性薄膜について詳細に説明する。

【0025】

本発明の高周波用磁性薄膜 1 は、図 1 の模式的断面図に示されるように、C o 系非結晶質合金層 3 と F e - C 層 7 とが交互に積層された多層膜構造をなす複合磁性薄膜 1 である。図 1 に示される実施形態では模式的に合計 8 層からなる多層膜構造が例示されている。

【0026】

本発明における F e - C 層 7 の厚さ (T1) は、0.5 nm 以上 3.0 nm 未満、好ましくは 1.0 nm 以上 2.0 nm 以下とされる。T1 の値が 3.0 nm 以上となると、共鳴周波数が 2 GHz 以下になり、Q 値が 10 以上とならず、本発明で目標とする極めて優れた特性が得られない。また、T1 の値が 0.5 nm 未満となる、性能の低下は起こらないものの、積層回数が増えるため成膜時間が長くなるという製造上の不都合が生じる。

【0027】

このような F e - C 層 7 の結晶構造は、飽和磁化および結晶磁気異方性を大きくするとともに、高抵抗な軟磁気特性を常に維持するため、F e - C 層 7 の結晶構造を非結晶質 (アモルファス) にする。F e - C 層 7 が本発明で言う非結晶質 (アモルファス) から構成されているか否かの判断は、XRD (X 線回折) により、F e の bcc (110) 結晶回折ピークが発現するか否かにより判断すればよい。

非結晶質（アモルファス）であれば回折ピークは現われない。

【0028】

また、本発明において、Fe-C層7の厚さをT1、Co系非結晶質合金層3の厚さをT2とした場合に、 $T1/T2$ の比は、0.8以上3.0以下、好ましくは1.0以上2.5以下とされる。

【0029】

この値が、3.0を超えると、FeCの粒子が大きく成長してしまい、本願で目標とする $130\mu\Omega\text{cm}$ 以上の高い比抵抗が得られなくなってしまう。また、この値が0.8未満となると、高飽和磁化のFeCの割合が少なくなってしまう、共鳴周波数の高周波数化が困難となってしまう。

【0030】

上記のT1厚さ、および $T1/T2$ の比を本願発明の範囲内とすることで、比抵抗が $130\mu\Omega\text{cm}$ 以上で、かつ1GHzにおける復素透磁率の実数部(μ')が500以上、性能指数($Q = \mu' / \mu''$)が10以上、飽和磁化が1.4T (14kG)以上、という極めて優れた特性を有する複合薄膜の実現が可能となる。なお、このような特性の測定は、成膜終了後であるas-depo.状態で測定される。

【0031】

本発明の高周波用磁性薄膜1（複合磁性薄膜1）において、相互に積層されるFe-C層7およびCo系非結晶質合金層3の合計積層回数に関する制限はないが、通常、15～3000回、好ましくは75～700回程度とされる。複合磁性薄膜の中で同一種類（Fe-C層7またはCo系非結晶質合金層3）の膜厚は、通常、同じ膜厚となるように形成される。ただし、稀なケースとして、同一種類の膜であっても、積層箇所によって成膜厚さを他の部分と異ならしめることがあり得る。極端な例として、例えば、中間付近のFe-C層7の50層分の個々の膜厚を1.0nm、上下のFe-C層7の25層分の個々の膜厚をそれぞれ2.0nmとするような仕様も場合によってはあり得る。このような場合、本願におけるFe-C層7の厚さ(Tf)は、算術平均により算出すればよい。すなわち、算術平均値である $Tf = 1.5\text{nm}$ という数値を採択して、例えば Tf/Tc

の比を求めるようにすればよい。Co系非結晶質合金層3についても同様に考えればよい。

【0032】

このような本発明の高周波用磁性薄膜1（複合磁性薄膜1）の厚さは、100～2000nm、好ましくは300～1000nmとされる。この値が、100nm未満であると、後述の図2および図3に示される磁性薄膜を備える有芯コイルの形態としても、空芯コイルに比べてインダクタンスの増加が10%未満となる傾向が生じ、磁性薄膜の効果が十分発揮できないという不都合が生じる。また、この値が、2000nmを超えると、表皮効果による高周波損失が顕著になり、GHz帯域の損失が増大するという不都合が生じる。

【0033】

本発明の高周波用磁性薄膜1（複合磁性薄膜1）を構成するCo系非結晶質合金層3は、Coを主成分とし、B、C、Si、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Y、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される少なくとも1種の添加元素を含んで形成されており、このものは非結晶質相を主体として構成されている。添加元素の割合（2種以上の場合は総和量）は、通常、5～50at%、好ましくは、10～30at%とされる。添加元素の割合が多くなり過ぎると、飽和磁化が小さくなってしまいうという不都合が生じ、また、添加元素の割合が少なくなり過ぎると、磁歪の制御が困難となり、有効な軟磁気特性が得られなくなるという不都合が生じる。

【0034】

Co系非結晶質合金層3を構成する好適な化合物例としては、CoZr、CoHf、CoNb、CoMo、CoZrNb、CoZrTa、CoFeZr、CoFeNb、CoTiNb、CoZrMo、CoFeB、CoZrNbMo、CoZrMoNi、CoFeZrB、CoFeSiB、CoZrCrMoなどが挙げられる。

【0035】

また、本発明の高周波用磁性薄膜1（複合磁性薄膜1）を構成するFe-C層7は、その中に含有される炭素濃度が2～20at%、好ましくは4～10at

%とされる。

【0036】

この炭素濃度が2at%未満であると、bcc構造のFe結晶粒子が大きく成長しやすくなり、保磁力が大きくなるとともに、比抵抗が小さくなってしまい、良好な高周波特性を得ることが困難となってしまう。この一方で、この炭素濃度が20at%を超えると、異方性磁界が減少するために共鳴周波数の低下が生じて、高周波用の薄膜として十分に機能することが困難となってしまう。

【0037】

本発明の複合磁性薄膜1は、真空薄膜形成方法、特にスパッタ法により形成されることが好ましい。より具体的には、RF2極スパッタ、DCスパッタ、マグネトロンスパッタ、3極スパッタ、イオンビームスパッタ、対向ターゲット式スパッタなどが用いられる。

【0038】

Co系非結晶質合金層3を形成するためのターゲットとしては、Coターゲット上に、所望の添加元素のペレットを配置した複合ターゲットを用いたり、所望の添加成分を含有するCo合金のターゲットを用いたりすればよい。

【0039】

Fe-C層7を形成するためのターゲットとしては、Feターゲットの上に、C（炭素）ペレットを配置した複合ターゲットを用いればよい。C濃度の調整は、例えば、C（炭素）ペレットの量を調整するようにすればよい。

【0040】

本発明の高周波用磁性薄膜1は、数100MHz以上の周波数帯域、特に、1GHz以上のGHz周波数帯域で使用される。このような高周波帯域における透磁率（以下、単に「高周波透磁率」と称す）は、試料の様々な物性と複雑に関係する物性である。この透磁率がもっとも関係が密なものとして、異方性磁界 H_k と飽和磁化 M_s がある。概ね、透磁率 μ は飽和磁化 M_s と比例関係、異方性磁界 H_k とは反比例関係にある。すなわち、透磁率 μ は、 $4\pi M_s/H_k$ と比例関係にある。

【0041】

また、共鳴周波数は、

$$f_r = (\gamma / 2\pi) [H_k 4\pi M_s]^{1/2} \quad \dots \text{式 (1)}$$

という関係式 (1) で表される。ここで、 f_r は共鳴周波数を表し、 γ はジャイロ磁気定数を表し、 H_k は異方性磁界を表し、 $4\pi M_s$ は飽和磁化を表している。

【0042】

上記式 (1) から分かるように、材料の異方性磁界 H_k および飽和磁化 M_s を大きくすることで共鳴周波数を上げ、使用限界周波数を上げることが可能となる。

【0043】

従って、従来の Co 系非結晶質合金薄膜の代表的な一例である CoZrNb 非結晶質薄膜の共鳴周波数を 2 GHz まで向上させる手段として、飽和磁化および結晶磁気異方性が大きい Fe 系との組み合わせを想起するとともに、本願発明の構成を創案したのである。ただし、本願発明において、組み合わせる Fe 系は、高抵抗および軟磁気特性を常に維持するために、非結晶質（アモルファス）構造としなければならない。

【0044】

すなわち、本発明は、上述のごとく軟磁気特性に優れている Co 系非結晶合金の薄膜と、非結晶質構造の Fe-C の薄膜とを、所定の厚さ、かつ所定の厚さ比の範囲で、相互に順次積層し、抵抗率が $130 \mu\Omega\text{cm}$ 以上で、かつ 1 GHz における復素透磁率の実数部 (μ') が 500 以上、性能指数 ($Q = \mu' / \mu''$) が 10 以上、飽和磁化が 1.4 T (14 kG) 以上を示す高周波用薄膜磁性を提供しているのである。

【0045】

GHz 領域 (1 GHz) で透磁率の実数部 (μ') はできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。同様に、飽和磁化についてもできるだけ大きな値をとることが望まれ、特に上限値はない。

【0046】

従来より、Fe あるいは Fe を主成分とする微結晶または非結晶質合金は高飽和磁化を示す材料として広く知られていた。しかしながら、Fe 系合金の磁性膜をスパッタなどの成膜技術により作製すると、飽和磁化は高いものの、保磁力が

大きく、また比抵抗が小さくなってしまい良好な高周波特性を得ることが困難であった。その主原因としては、以下のことが考えられていた。すなわち、スパッタなどで成膜した Fe 系の薄膜は、基板の垂直方向に柱状に成長しており、この柱状構造に起因する垂直磁気異方性の発生が問題とされていた。しかしながら、本出願にかかる発明者らが鋭意研究したところ、Fe に添加成分としての炭素を所定量添加させた Fe-C 薄膜においては、厚さが約 70 nm までの成膜初期段階では柱状構造への成長が抑制されており、Fe-C 薄膜の厚さが約 70 nm まで（好ましくは、50 nm まで）の範囲内のものが使用可能であることを見出した。さらに、この Fe-C 薄膜と、Co 系非結晶質合金とを積層する形態を採択すれば、軟磁性特性が劣化しないことを見出したのである。

【0047】

ただし、本発明においては、前述のごとく抵抗率が $130 \mu\Omega\text{cm}$ 以上で、かつ 1 GHz における復素透磁率の実数部 (μ') が 500 以上、性能指数 ($Q = \mu' / \mu''$) が 10 以上、飽和磁化が 1.4 T (14 kG) 以上というように、特に、モノリシックマイクロ波集積回路 (MMIC) に最適な高周波用磁性薄膜の提供を目的としているため、前述のごとく Fe-C 層の厚さ T1 が、0.5 nm 以上 3.0 nm 未満の範囲内にあり、かつ前記 T1/T2 の比が、0.8 以上 3.0 以下の範囲にあるという本願発明構成上の限定が存在する。

【0048】

本発明の高周波用磁性薄膜は、上述してきたように極めて優れた高周波特性を有するとともに室温で成膜後、as-depo. 状態でその性能が発揮できる。そのため、MMIC のような半導体プロセスで製作される高周波集積回路に最適な材料である。従って、本発明の高周波用磁性薄膜 1 が形成される基板 2 (図 1)、および基板 11 (後述の図 3 に示される) としては、Si、GaAs、InP、SiGe などの半導体基板が例示できる。また、本発明の高周波用磁性薄膜 1 は、様々なセラミックス材料や樹脂基板上に成膜することも勿論可能である。

【0049】

本発明の高周波用磁性薄膜 1 の具体的な成膜方法については、後述の実施例を参照されたい。

【0050】

本発明の高周波用磁性薄膜1を、MMIC用インダクティブ素子（インダクタ）として応用した実施例が図2および図3に示される。

【0051】

図2はインダクタの導体層部分を抜き出した平面図を模式的に示したものであり、図3は図2のA-A矢視断面を模式的に示した図面である。

【0052】

これらの図面で示されているインダクタ10は、図3に示されるように基板11と、この基板11の上に必要に応じて形成される絶縁酸化膜12と、その絶縁酸化膜12の上に形成された本発明の高周波磁性薄膜1aと、この高周波磁性薄膜1aの上に形成された絶縁膜13を備え、さらにこの絶縁膜13の上に形成されたスパイラルコイル14と、このスパイラルコイル14と絶縁膜13を覆うように形成された絶縁膜15と、この絶縁膜15の上に形成された本発明の高周波用磁性薄膜1bとを有している。

【0053】

また、スパイラルコイル14は、図2に示されるように配線16を介して一対の電極17に接続されている。そして、スパイラルコイル14を囲むように設けられた一対のグラウンドパターン19は、それぞれ一対のグラウンド電極18に接続され、グラウンド—シグナル—グラウンド（G—S—G）タイプのプロープにより、ウェハ上で周波数特性を評価する形状を有している。

【0054】

本実施の形状にかかるMMIC用インダクティブ素子（インダクタ）においては、磁芯となる高周波磁性膜1a、1bでもってスパイラルコイル14が挟み込まれた有芯構造を採用している。そのため、スパイラルコイル14が同じ形状でありながらも高周波磁性膜1a、1bが形成されていない空芯構造のインダクティブ素子に比べ、インダクタンス値が約50%向上される。従って、同じインダクタンス値を得るために必要なスパイラルコイル14の占有面積は小さくてもよいことになり、その結果としてスパイラルコイル14の小型化が実現できる。

【0055】

【実施例】

以下、具体的実施例を示し、本発明をさらに詳細に説明する。

【0056】

〔実施例1〕

以下の成膜手法に従って本発明の複合磁性薄膜サンプル1を作製した。

Si(100) ウェハの上にSiO₂を500nmの厚さに成膜したものを基板として用いた。

【0057】

対向ターゲット式スパッタ装置を用いて、下記の要領で基板上に複合磁性薄膜を形成(deposit)させた。すなわち、対向ターゲット式スパッタ装置内を 8×10^{-5} Paまで予備排気した後、圧力が10PaになるまでArガスを導入した後、100WのRFパワーで10分間、基板表面をスパッタエッチングした。

【0058】

次いで、圧力が0.4PaになるようにArガスの流量を調整し、300WのパワーでCo₈₇Zr₅Nb₈ターゲット、およびFeターゲット上にC(炭素)ペレットを配置した複合ターゲットを、順次交互に繰り返しスパッタリングして後述する仕様からなる複合磁性薄膜を成膜(deposit)させた。

【0059】

成膜時には基板に-40~-80VのDCバイアスを印加した。また、ターゲット表面の不純物の影響を防止するためにシャッターを閉めた状態で10分以上プリスパッタリングを行った。その後、シャッターを空けることにより基板上に成膜を行った。成膜速度(rate)は、CoZrNb層の成膜時で0.33nm/秒、Fe-C層の成膜時で0.27nm/秒とした。シャッターの開閉時間を制御することで交互に積層される各層の膜厚を調整した。基板上の第1層目としてCoZrNb層を成膜した後、その上にFe-C層を形成し、以下順次CoZrNb層とFe-C層とを交互に積層した。

【0060】

このような成膜手法に基き、厚さ1.0nmのCoZrNb層と、厚さ1.0nmのFe-C層(炭素濃度:5at%)とを交互に250回ずつ順次積層して

総膜厚500nm（合計500層）の本発明の複合磁性薄膜サンプル1（実施例1サンプル）を形成した。なお、成膜中に基板温度の制御は行っていないが、基板温度は総膜厚が500nmになるまで成膜する間に30℃まで上昇した。

【0061】

成膜後に測定された磁化曲線を図4に示した。図4に示される磁化曲線から明らかなように、積層膜では面内一軸磁気異方性が観察されており、飽和磁化は14.3kG（1.43T）、磁化容易軸方向の保磁力は0.60e、磁化困難軸方向の保磁力は0.80eが得られた。さらに、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を図5に示した。図5に示されるグラフより、共鳴周波数は測定限界の2GHzを越えており、GHz領域で透磁率の実数部（ μ' ）が500以上であることが分かる。また、性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は1GHzでは15の値が得られ、2GHzでは7の値が得られていることが分かる。

【0062】

〔実施例2〕

上記実施例1の成膜手法に基き、厚さ1.5nmのCoZrNb層と、厚さ1.5nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に170層ずつ順次積層して総膜厚510nm（合計340層）の本発明の複合磁性薄膜サンプル2（実施例2サンプル）を形成した。

【0063】

成膜後に測定された磁化曲線を図6に示した。図6に示される磁化曲線から求めた磁気特性として、飽和磁化は15.5kG（1.55T）、磁化容易軸方向の保磁力は0.60e、磁化困難軸方向の保磁力は0.80eであった。また、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を図7に示した。図7に示されるグラフより、透磁率の実数部（ μ' ）の値として、1.0GHzでは720の値が得られ、1.5GHzでは1055の値が得られていることが分かる。また、性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）の値として、1.0GHzでは13の値が得られ、1.5GHzでは5の値が得られていることが分かる。

【0064】

〔実施例3〕

上記実施例1の成膜手法に基き、厚さ1.0nmのCoZrNb層と、厚さ2.0nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に170層ずつ順次積層して総膜厚510nm（合計340層）の本発明の複合磁性薄膜サンプル3（実施例サンプル3）を形成した。

【0065】

成膜後に測定された磁化曲線を図8に示した。図8に示される磁化曲線から求めた磁気特性として、飽和磁化は14.8kG（1.48T）、磁化容易軸方向の保磁力は0.70e、磁化困難軸方向の保磁力は1.00eであった。

【0066】

また、この実施例の積層膜の高周波透磁率特性を図9に示した。図9に示されるグラフより、共鳴周波数は測定限界の2GHzを越えており、GHz領域で透磁率の実数部（ μ' ）が500以上であることが分かる。また、性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）の値として、1.0GHzでは24の値が得られ、1.5GHzでは8.5の値が得られ、2GHzでは3の値が得られていることが分かる。

【0067】

〔実施例4〕

上記実施例1の成膜手法に基き、厚さ1.0nmのCoZrNb層と、厚さ2.8nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に135層ずつ順次積層して総膜厚513nm（合計270層）の本発明の複合磁性薄膜サンプル4（実施例サンプル4）を形成した。

【0068】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.0kG（1.5T）の飽和磁化、0.80eの磁化容易軸方向の保磁力、0.90eの磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0069】

また、1GHzにおける透磁率の実数部（ μ' ）は、550であり、1GHzでの性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は、22の値が得られた。

【0070】

〔比較例1〕

上記実施例1の成膜手法に基き、厚さ0.8nmのCoZrNb層と、厚さ2.8nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に140層ずつ順次積層して総膜厚504nm（合計280層）の比較例1の複合磁性薄膜サンプル（比較例サンプル1）を形成した。

【0071】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.8kG（1.58T）の飽和磁化、0.90eの磁化容易軸方向の保磁力、1.10eの磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0072】

また、1GHzにおける透磁率の実数部（ μ' ）は、400であり、1GHzでの性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は、16の値が得られた。

【0073】

〔比較例2〕

上記実施例1の成膜手法に基き、厚さ2.0nmのCoZrNb層と、厚さ1.0nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に170層ずつ順次積層して総膜厚510nm（合計340層）の比較例2の複合磁性薄膜サンプル（比較例サンプル2）を形成した。

【0074】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、13.9kG（1.39T）の飽和磁化、0.60eの磁化容易軸方向の保磁力、0.70eの磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0075】

また、1GHzにおける透磁率の実数部（ μ' ）は、755であり、1GHzでの性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は、6の値が得られた。

【0076】

〔比較例3〕

上記実施例1において、Fe-C層をFe層に代えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、比較例3の複合磁性薄膜サンプル（比較例サンプル3）を形成した。

【0077】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、20.7 kG (2.07 T) の飽和磁化、4.2 Oe の磁化容易軸方向の保磁力、19.0 Oe の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0078】

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は、150 であるが、透磁率の値が小さいため、 μ'' の実測値には信頼性がなく、性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は求められなかった。

【0079】

〔実施例5〕

上記実施例1において、Fe-C層の炭素濃度を5 at % から7 at % に代えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、本発明の複合磁性薄膜サンプル5 (実施例サンプル5) を形成した。

【0080】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.1 kG (1.41 T) の飽和磁化、0.6 Oe の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0081】

また、1 GHz における透磁率の実数部 (μ') は、600 であり、1 GHz での性能指数 Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、12 の値が得られた。

【0082】

〔実施例6〕

上記実施例1において、Fe-C層の炭素濃度を5 at % から10 at % に代えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、本発明の複合磁性薄膜サンプル6 (実施例サンプル6) を形成した。

【0083】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.0 kG (1.40 T) の飽和磁化、0.6 Oe の磁化容易軸方向の保磁力、0.7 Oe の磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0084】

また、1GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は、750であり、1GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、12の値が得られた。

【0085】

〔実施例7〕

上記実施例1において、Co系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{89}\text{Zr}_6\text{Ta}_5$ に代えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、本発明の複合磁性薄膜サンプル7（実施例サンプル7）を形成した。

【0086】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.4kG (1.44T) の飽和磁化、0.6Oeの磁化容易軸方向の保磁力、0.7Oeの磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0087】

また、1GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は、520であり、1GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、15の値が得られた。

【0088】

〔実施例8〕

上記実施例1において、Co系非結晶質合金層の組成である $\text{Co}_{87}\text{Zr}_5\text{Nb}_8$ を、 $\text{Co}_{80}\text{Fe}_9\text{Zr}_3\text{B}_8$ に代えた。それ以外は、上記実施例1と同様にして、本発明の複合磁性薄膜サンプル8（実施例サンプル8）を形成した。

【0089】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、15.0kG (1.50T) の飽和磁化、0.6Oeの磁化容易軸方向の保磁力、0.7Oeの磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0090】

また、1GHzにおける透磁率の実数部 (μ') は、530であり、1GHzでの性能指数Q ($Q = \mu' / \mu''$) は、17の値が得られた。

【0091】

〔参考例1〕

上記実施例1の成膜手法に基づき、厚さ3.5nmのCoZrNb層と、厚さ3.5nmのFe-C層（炭素濃度：5at%）とを交互に70層ずつ順次積層して総膜厚490nm（合計140層）の参考例1の複合磁性薄膜サンプル（参考例1サンプル）を形成した。

【0092】

上記の実施例に準じた方法によって、当該複合磁性薄膜の物性値を求めたところ、14.0kG（1.40T）の飽和磁化、0.5Oeの磁化容易軸方向の保磁力、0.6Oeの磁化困難軸方向の保磁力が、それぞれ、得られた。

【0093】

また、1GHzにおける透磁率の実数部（ μ' ）は、1005であり、1GHzでの性能指数Q（ $Q = \mu' / \mu''$ ）は、4の値が得られた。

【0094】

ちなみに、参考例1のサンプルは、本願発明者がすでに特願2002-7059号として提案を行なっている高周波用磁性薄膜に相当するものである。

これらの結果を含めた測定値を下記表1にまとめて示した。

【0095】

【表 1】

	磁性薄膜構成	T1 (nm)	T1/T2	飽和磁化 (T)	共鳴周波数 (GHz)	μ' (at1GHz)	μ'' (at1GHz)	Q (at1GHz)	比抵抗 ($\mu\Omega$ cm)	保磁力 H _{oc} (Oe)
実施例 1	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₉₂) × 250	1.0	1.0	1.43	>>2.0	515	35	15	150	0.6
実施例 2	(1.5nm CoZrNb/1.5nm Fe-C ₉₂) × 170	1.5	1.0	1.55	~2.0	720	55	13	130	0.6
実施例 3	(1.0nm CoZrNb/2.0nm Fe-C ₉₂) × 170	2.0	2.0	1.48	>>2.0	590	25	24	145	0.7
実施例 4	(1.0nm CoZrNb/2.8nm Fe-C ₉₂) × 20	2.8	2.8	1.50	>>2.0	550	25	22	140	0.8
比較例 1	(0.8nm CoZrNb/2.8nm Fe-C ₉₂) × 140	2.8	3.5	1.58	>>2.0	400	25	16	140	0.9
比較例 2	(2.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₉₂) × 170	1.0	0.5	1.39	1.7	755	130	6	125	0.6
比較例 3	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe) × 250	-	-	2.07	-	150	-	-	70	4.2
実施例 5	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₉₂) × 250	1.0	1.0	1.41	>2.0	600	50	12	140	0.6
実施例 6	(1.0nm CoZrNb/1.0nm Fe-C ₉₂) × 250	1.0	1.0	1.40	~2.0	750	60	12	130	0.6
実施例 7	(1.0nm CoZrTa/1.0nm Fe-C ₉₂) × 250	1.0	1.0	1.44	>>2.0	520	35	15	150	0.6
実施例 8	(1.0nm CoFeZrB/1.0nm Fe-C ₉₂) × 250	1.0	1.0	1.50	>>2.0	530	30	17	140	0.6
参考例 1	(3.5nm CoZrNb/3.5nm Fe-C ₉₂) × 70	3.5	1.0	1.40	~2.0	1005	250	4	120	0.5

表 1

【0096】

【発明の効果】

上記の結果より本発明の効果は明らかである。すなわち、本発明は、C o 系非結晶質合金層と F e - C 層とを交互に積層して多層膜構造とした高周波用磁性薄膜であって、前記 F e - C 層の厚さを T1、前記 C o 系非結晶質合金層の厚さを T2とした場合に、F e - C 層の厚さ T1 が 0.5 nm 以上 3.0 nm 未満の範囲内にあり、かつ T1/T2 の比が、0.8 以上 3.0 以下の範囲内にあるように構成されているので、高抵抗、かつ、G H z の高周波帯域で高い透磁率および性能指数 Q を示すという効果を得られる。このような本発明の磁性薄膜は、特に、モノリシックマイクロ集積回路 (M M I C) に用いられる磁性薄膜として最適である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の高周波用磁性薄膜の断面図である。

【図 2】

集積化インダクタの一例を示す平面図である。

【図 3】

図 2 の A - A 矢視断面図である。

【図 4】

実施例 1 サンプルの磁化曲線である。

【図 5】

実施例 1 サンプルの高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図 6】

実施例 2 サンプルの磁化曲線である。

【図 7】

実施例 2 サンプルの高周波透磁率特性を示すグラフである。

【図 8】

実施例 3 サンプルの磁化曲線である。

【図 9】

実施例 3 サンプルの高周波透磁率特性を示すグラフである。

【符号の説明】

1, 1a, 1b...高周波用磁性薄膜

2, 11...基板

3...Co系非結晶質合金層

7...Fe-C層

10...集積化インダクタ

【書類名】 図面

【図1】

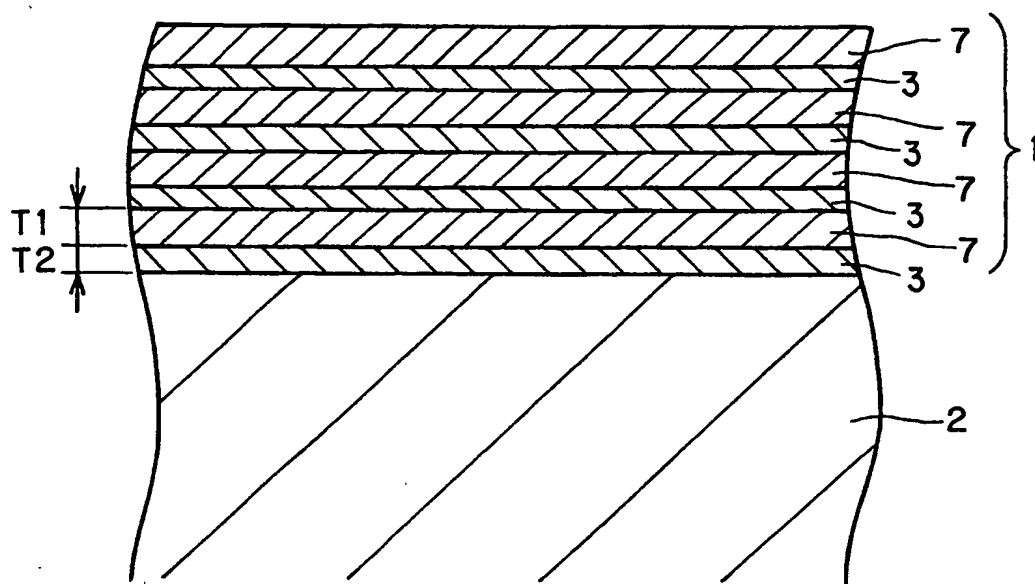


FIG.1

【図 2】

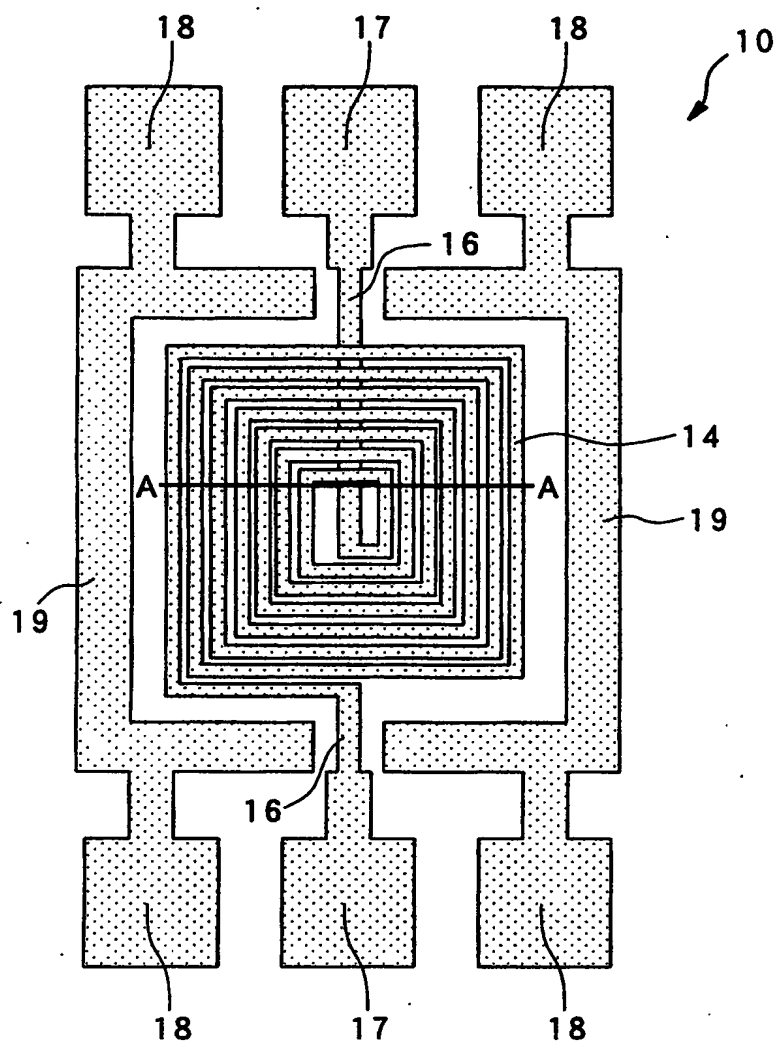


FIG.2

【図3】

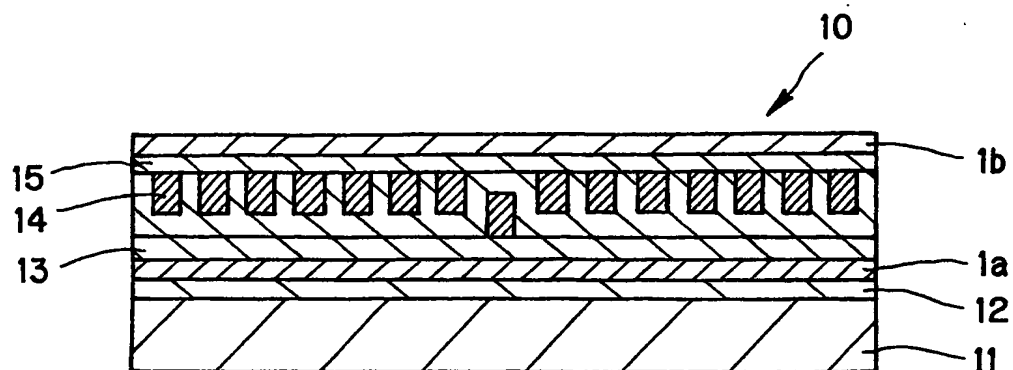


FIG.3

【図4】

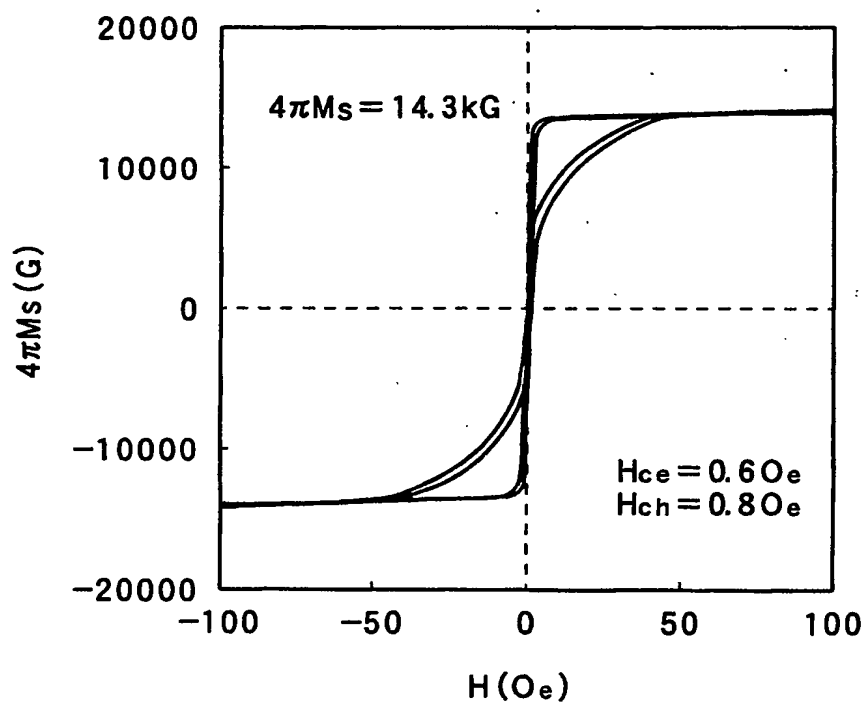


FIG.4

【図 5】

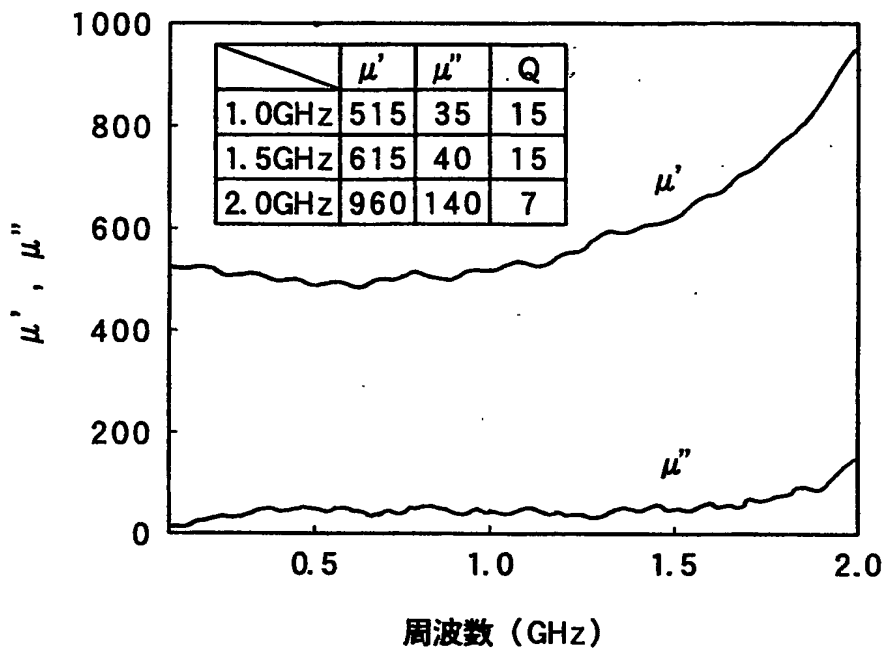


FIG.5

【図 6】

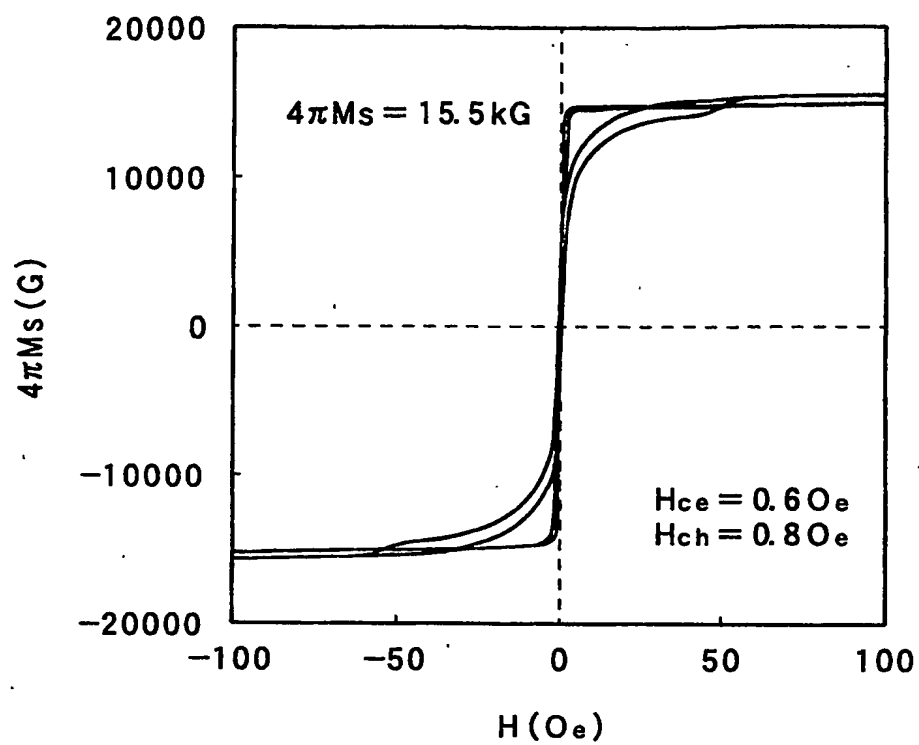


FIG.6

【図 7】

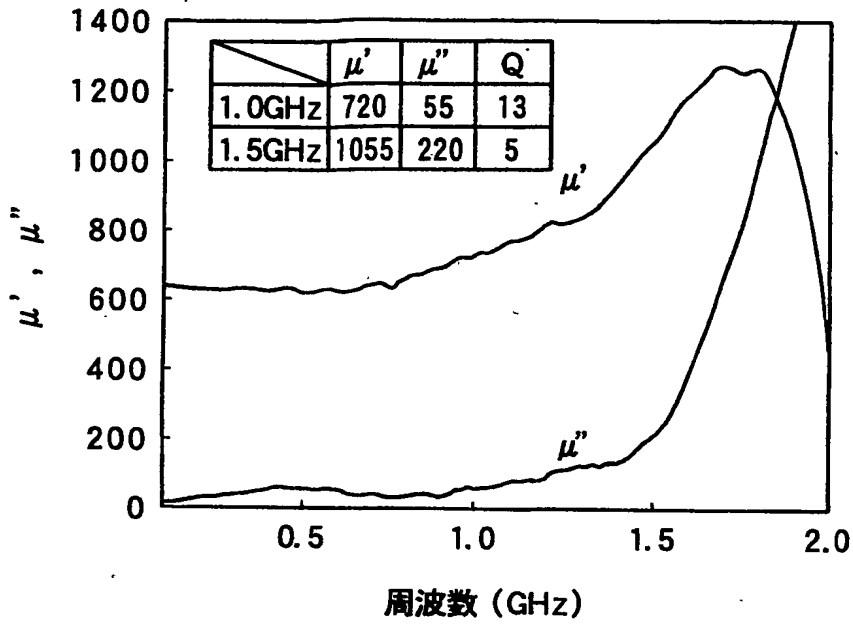


FIG.7

【図 8】

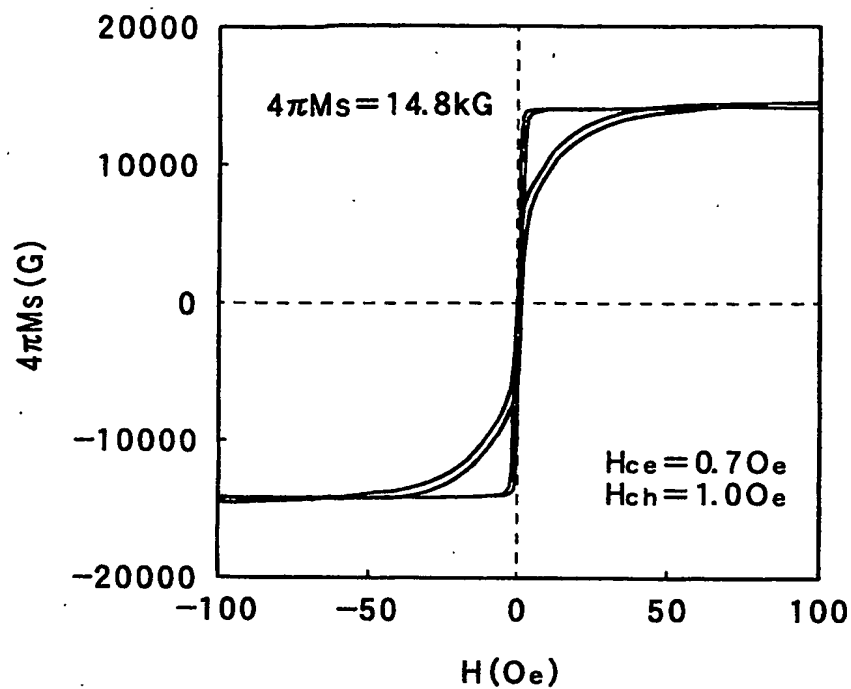


FIG.8

【図9】

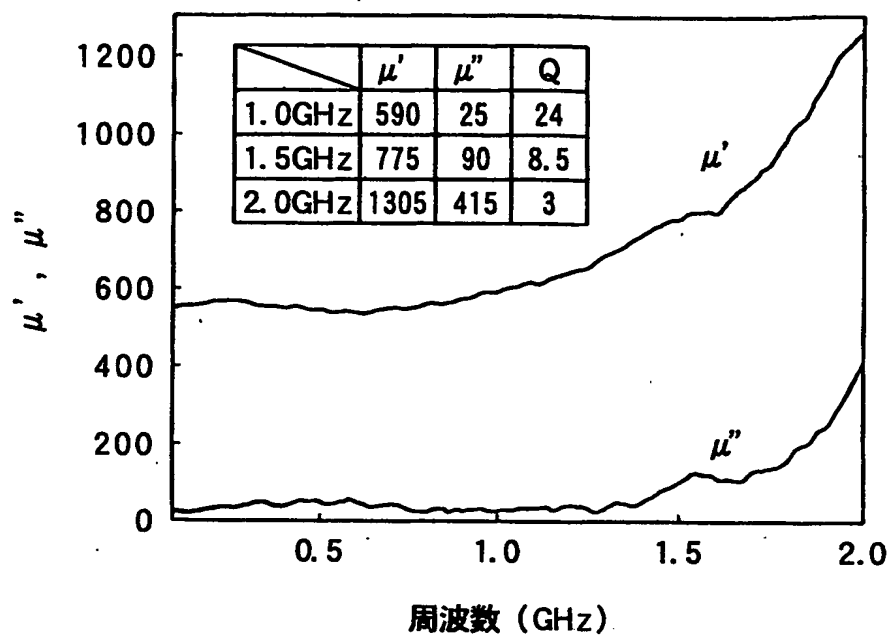


FIG.9

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高抵抗、かつ、GHzの高周波帯域で高い透磁率および性能指数Qを示す磁性薄膜、特に、モノリシックマイクロ集積回路(MMIC)に用いられる磁性薄膜およびインダクティブ素子を提供する。

【解決手段】 Co系非結晶質合金層とFe-C層とを交互に積層して多層膜構造とした高周波用磁性薄膜であって、

前記Fe-C層の厚さをT1、前記Co系非結晶質合金層の厚さをT2とした場合に、Fe-C層の厚さT1が0.5nm以上3.0nm未満の範囲内にあり、かつT1/T2の比が、0.8以上3.0以下の範囲内となるように構成する。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003067]

1. 変更年月日 1990年 8月30日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都中央区日本橋1丁目13番1号
氏 名 ティーディーケイ株式会社